



TBDY 2018

Etkin Kesit Rijitliği Nedir?

Etkin kesit rijitliği nedir? Brüt ve çatlamış kesit farkı, TBDY 2018 etkin kesit rijitliği çarpanları, yapı davranışına etkileri ve analiz modelinde uygulanması.



Etkin kesit rijitliği, betonarme bir taşıyıcı elemanın analiz modelinde kullanılacak eşdeğer rijitliğidir. Betonarme elemanların gerçek davranışında çatlama meydana geldiği için, elemanın deprem sırasındaki rijitliği genellikle çatlamamış brüt kesit rijitliğinden daha düşüktür.

Betonarme bir elemanın eğilme rijitliği temel olarak elastisite modülü ile kesit atalet momentinin çarpımı olan EI ile ifade edilir. Doğrusal deprem hesabında çatlama ve diğer doğrusal olmayan etkileri her kesitte ayrıntılı olarak modellemek yerine, brüt kesit rijitliği belirli bir katsayı ile azaltılarak etkin rijitlik tanımlanabilir:

$$(EI)_e = \alpha EI_g$$

Burada $(EI)_e$ etkin eğilme rijitliğini, EI_g brüt kesit eğilme rijitliğini ve α etkin kesit rijitliği çarpanını gösterir.

TBDY 2018, Dayanıma Göre Tasarım kapsamında betonarme taşıyıcı sistem elemanları için kullanılacak bu çarpanları doğrudan tanımlamaktadır.

Brüt, Çatlamış ve Etkin Kesit Rijitliği Arasındaki Fark

Bu üç kavram birbiriyle ilişkili olmakla birlikte aynı şeyi ifade etmez.

Brüt kesit rijitliği, beton kesitin tamamının çatlamamış kabul edildiği rijitliktir. Kesitin geometrik özellikleri brüt beton kesiti üzerinden belirlenir.

Çatlamış kesit rijitliği ise çekme bölgesindeki betonun çatlamasının kesit davranışına etkisinin dikkate alındığı rijitliktir. Çatlama sonrasında çekme betonunun rijitliğe katkısı önemli ölçüde azalır ve kesitin moment-eğrilik davranışı değişir.

Etkin kesit rijitliği ise yapısal analizde elemanın gerçek doğrusal olmayan davranışını belirli bir yük veya deformasyon düzeyi için eşdeğer biçimde temsil eden rijitliktir.

Bu nedenle “çatlamış kesit rijitliği” ile “etkin kesit rijitliği” tamamen eş anlamlı değildir. Çatlama, etkin rijitliğin brüt rijitlikten düşük olmasının temel nedenlerinden biridir; ancak etkin rijitlik, gerçek davranışı analiz modelinde temsil etmek için kullanılan daha genel bir kavramdır.

TBDY 2018 Tablo 4.2’de verilen değerler de her elemanın gerçek çatlamış kesitinin tek tek hesaplanmasıyla elde edilen kesit özellikleri değil, Dayanıma Göre Tasarım analizinde kullanılmak üzere tanımlanmış etkin rijitlik çarpanlarıdır.

TBDY 2018'e Göre Etkin Kesit Rijitliği

TBDY 2018 Madde 4.5.8'e göre **Dayanıma Göre Tasarım** kapsamında betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının modellenmesinde Tablo 4.2'de verilen etkin kesit rijitliği çarpanları kullanılmalıdır.

Yönetmelik burada yalnızca eğilme rijitliğini azaltmaz. Eleman tipine bağlı olarak eğilme, eksenel ve kayma rijitlikleri için ayrı çarpanlar tanımlar.

Ayrıca Tablo 4.2'de bir eleman için verilen iki çarpanın da hesap modelinde dikkate alınması gerekir. Örneğin çerçeve kirişinde eğilme rijitliği azaltılırken kayma rijitliği brüt değerinde bırakılır; eşdeğer çubuk olarak modellenen perdede ise hem eğilme hem de kayma rijitliği azaltılır.

TBDY 2018 Etkin Kesit Rijitliği Çarpanları

TBDY 2018 Tablo 4.2'de betonarme taşıyıcı sistem elemanları için aşağıdaki etkin kesit rijitliği çarpanları verilmektedir:

Tablo 1 - TBDY 2018 Etkin Kesit Rijitliği Çarpanları (Tablo 4.2)

Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanı	Etkin Kesit Rijitliği Çarpanı	
	Eksenel	Kayma
Perde – Döşeme (Düzlem İçi)		
Perde	0.50	0.50
Bodrum perdesi	0.80	0.50
Döşeme	0.25	0.25
Perde – Döşeme (Düzlem Dışı)	Eğilme	Kesme
Perde	0.25	1.00
Bodrum perdesi	0.50	1.00
Döşeme	0.25	1.00
Çubuk Eleman	Eğilme	Kesme
Bağ kirişi	0.15	1.00
Çerçeve kirişi	0.35	1.00
Çerçeve kolonu	0.70	1.00
Perde (eşdeğer çubuk)	0.50	0.50

Tablodan görüldüğü üzere kiriş ve kolonlar aynı oranda azaltılmaz. Çerçeve kirişlerinde eğilme rijitliği brüt değer %35'i, kolonlarda ise %70'i olarak modellenir.

Bağ kirişleri için 0.15 gibi daha düşük bir eğilme rijitliği kullanılırken eşdeğer çubuk olarak modellenen perdelerde hem eğilme hem de kayma rijitliği için 0.50 çarpanı kullanılır.

Kabuk eleman olarak modellenen perde ve döşemelerde ise düzlem içi ve düzlem dışı davranış birbirinden ayrılır. Bu nedenle perdeler için tek bir “perde rijitlik katsayısı”ndan söz etmek teknik olarak yeterli değildir; kullanılan eleman modeli ve incelenen deformasyon türü de belirtilmelidir.

Etkin Kesit Rijitliği Yapı Davranışını Nasıl Etkiler?

Etkin kesit rijitliğinin kullanılması yalnızca eleman düzeyinde bir modelleme ayrıntısı değildir. Yapının global deprem davranışını doğrudan etkiler.

Doğal titreşim periyodu

Yapının rijitliği azaldığında doğal titreşim periyotları genel olarak uzar. Tek serbestlik dereceli ideal bir sistem için bu ilişki:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

ile görülebilir.

Dolayısıyla yapının etkin yatay rijitliği azaldıkça periyot artar. Ancak bunun deprem kuvvetlerini artıracığı veya azaltacağı tek başına söylenemez; sonuç, yapının bulunduğu periyot bölgesindeki tasarım spektrumuna bağlıdır.

Kat ötelemeleri

Daha düşük rijitlik, aynı seviyedeki yatay kuvvet altında daha büyük deformasyon anlamına gelir. Bu nedenle etkin kesit rijitliklerinin kullanılması genellikle kat ötelemelerini ve görel kat ötelemelerini artırır.

Bu durum görel kat ötelemesi kontrollerini, taşıyıcı olmayan eleman taleplerini ve ikinci mertebe etkilerini doğrudan etkileyebilir.

İç kuvvet dağılımı

Taşıyıcı sistemdeki deprem kuvvetleri yalnızca elemanların dayanımlarına göre değil, rijitliklerine göre de dağılır.

Farklı elemanların rijitliklerinin farklı oranlarda azaltılması, yük paylaşımını değiştirir. Örneğin bir çerçeve kirişinin eğilme rijitliğinin 0.35 ile, bir kolonunkinin 0.70 ile çarpılması çerçevenin kendi içindeki kuvvet dağılımını değiştirir. Perde ve çerçevelerden oluşan karma sistemlerde de elemanların görel rijitlikleri değiştiği için deprem kuvvetlerinin sistemler arasındaki paylaşımı değişebilir.

Moment-Eğrilik İlişkisi ve Etkin Rijitliğin Fiziksel Anlamı

Betonarme bir kesitin moment ile eğrilik arasındaki ilişkisi doğrusal değildir.

Düşük moment seviyelerinde kesit çatlamamış davranışa yakinken ilk çatlakların oluşmasıyla moment-eğrilik eğrisinin eğimi azalır. Moment yükseldikçe çatlaklar ilerler, donatı gerilmeleri artar ve kesitin rijitliği değişmeye devam eder. Donatının akmasıyla birlikte davranış çok daha belirgin biçimde doğrusal olmayan hale gelir.

Bu nedenle betonarme kesit için bütün yükleme geçmişini temsil eden tek ve değişmez bir eğilme rijitliği tanımlamak mümkün değildir.

TBDY'nin Dayanıma Göre Tasarım kapsamında kullandığı sabit rijitlik çarpanları, doğrusal analiz modelinde bu karmaşık davranışın yaklaşık olarak temsil edilmesini sağlar.

Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım kapsamında yığılı plastik davranış modeli kullanılan kolon, kiriş, bağ kirişi ve perdelerde ise TBDY etkin kesit rijitliğini elemanın akma özelliklerine bağlı olarak tanımlar:

$$(EI)_e = \frac{M_y L_s}{\theta_y 3}$$

Burada M_y eleman uçlarındaki plastik mafsalların etkin akma momentlerinin ortalamasını, θ_y akma dönmelerinin ortalamasını ve L_s kesme açıklığını ifade eder.

Bu yaklaşım, Dayanıma Göre Tasarımda kullanılan sabit Tablo 4.2 çarpanları ile doğrusal olmayan analizde kullanılan kesite ve eleman davranışına bağlı etkin rijitlik arasında önemli bir fark olduğunu gösterir.

Etkin Kesit Rijitliği Analiz Modelinde Nasıl Uygulanır?

SAP2000, ETABS ve benzeri sonlu eleman programlarında etkin kesit rijitlikleri genellikle elemanların **stiffness modifier** veya kesit rijitliği çarpanı özellikleri üzerinden tanımlanır.

Çubuk elemanlarda hangi yerel eksen etrafındaki eğilmenin deprem davranışında etkin olduğu doğru belirlenmeli ve ilgili eğilme rijitliği çarpanı buna göre atanmalıdır. Kesme rijitliği için yönetmelikte verilen ikinci çarpan da ayrıca dikkate alınmalıdır.

Perdelerin kabuk elemanlarla modellenmesi durumunda konu daha ayrıntılıdır. Düzlem içi eksenel ve kayma rijitlikleri ile düzlem dışı eğilme ve kesme rijitlikleri birbirinden farklı çarpanlara sahiptir. Bu nedenle yalnızca tek bir atalet momenti çarpanı tanımlamak Tablo 4.2'nin tam olarak uygulanması anlamına gelmez.

Eşdeğer çubuk olarak modellenen perdelerde ise yönetmelikte verilen eğilme ve kayma çarpanları doğrudan çubuk elemanın ilgili rijitlik bileşenlerine uygulanır.

Analiz programındaki modifier isimlerinin yönetmelikteki fiziksel büyüklüklerle doğru eşleştirilmesi gerekir. Programın kullandığı yerel eksen sistemi veya kabuk eleman rijitlik tanımları bilinmeden yalnızca sayısal katsayıların girilmesi hatalı bir model oluşturabilir.

Etkin Kesit Rijitliği Hangi Hesaplarda Kullanılır?

TBDY 2018 Madde 4.5.8'de verilen Tablo 4.2 çarpanları **Dayanıma Göre Tasarım kapsamında** kullanılır ve yalnızca deprem etkili yük birleşimleri içinde yer alan ve bu birleşimlere giren yükler altındaki hesaplara uygulanır.

Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarımda ise yaklaşım farklılaşır. Doğrusal modellenen perde ve döşemelerin ilgili rijitlikleri için yönetmelikte tanımlanan kurallar uygulanırken, doğrusal olmayan davranışı temsil edilen elemanlarda etkin rijitlik elemanın gerçek moment-dönme veya moment-eğrilik özelliklerine bağlı olarak belirlenir.

Bu nedenle “etkin kesit rijitliği” tek bir sabit katsayıdan ibaret değildir. Kullanılacak yaklaşım, yapılan hesabın Dayanıma Göre Tasarım mı yoksa Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım mı olduğuna ve elemanın analiz modelinde nasıl temsil edildiğine bağlıdır.

Sonuç

Etkin kesit rijitliği, betonarme elemanların gerçek davranışındaki rijitlik kaybını analiz modeline yansıtmak için kullanılan temel modelleme kavramlarından biridir.

Betonarme elemanların brüt kesit rijitlikleriyle modellenmesi yapının gerçekte olduğundan daha rijit hesaplanmasına, doğal titreşim periyotlarının kısalmasına, görelî kat ötelemelerinin küçülmesine ve taşıyıcı sistem içindeki kuvvet dağılımının değişmesine neden olabilir.

TBDY 2018 bu nedenle Dayanıma Göre Tasarım kapsamında farklı eleman ve deformasyon türleri için etkin kesit rijitliği çarpanları tanımlar. Bu çarpanlar birer güvenlik katsayısı veya eleman dayanımını azaltan katsayılar değil, betonarme elemanların gerçek kuvvet-deformasyon davranışını doğrusal analiz modelinde daha gerçekçi temsil etmeye yönelik modelleme kabulleridir.

Çatlamış kesit rijitliği ile etkin kesit rijitliği de aynı kavram olarak değerlendirilmemelidir. Çatlama, betonarme elemanlarda rijitlik azalmasının temel nedenlerinden biri olsa da etkin rijitlik, belirli bir analiz yaklaşımı için elemanın gerçek doğrusal olmayan davranışını eşdeğer biçimde temsil eden daha genel bir büyüklüktür.

Bu nedenle doğru bir deprem modeli oluştururken yalnızca yönetmelikteki sayısal çarpanları girmek yeterli değildir. Hangi rijitlik bileşeninin azaltıldığı, elemanın nasıl modellendiği ve kullanılan analiz yönteminin hangi etkin rijitlik tanımını gerektirdiği de doğru anlaşılmalıdır.

Kaynaklar

1. TBDY 2018, Bölüm 4.5.8: Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanlarının Etkin Kesit Rijitlikleri.

Bizi Takip Edin

**LinkedIn**

Yapı Tasarım Akademisi

**YouTube**

Yapı Tasarım Akademisi

**Apple Podcasts**

Yapısal Podcast

**Instagram**

@yapitasarimakademisi

**Spotify**

Yapısal Podcast

**X (Twitter)**

@AkademisiYap

Bu belge eğitim amaçlı hazırlanmıştır. Proje ve uygulama kararlarında güncel yönetmelik ve ilgili standartlara başvurunuz. Hata bildirimi için: iletisim@yapitasarimakademisi.com